

Experimenty 2009

Série taveb a kování polotovarů Josefov 2009

V návaznosti na předchozí úspěšný ročník byla opět zorganizována kampaň taveb v rámci malého workshopu v květnu a jako doplnění i komornější akce na podzim.

Číslování experimentů stejně jako v předchozím roce budu používat ve formátu XK-RR-NN, X označuje lokalitu experimentu (J jako Josefov), K – doplňující písmeno označuje, že se jedná o následné kování. RR označuje ročník a NN označuje pořadové číslo v rámci roku.

V tomto roce byly tedy uskutečněny tavby dle přehledu

tavba	datum	pec
J-09-01	5.5.2009	P.I.
J-09-02	7.5.2009	P.I.
J-09-03	8.5.2009	P.II.
J-09-04	9.5.2009	P.III.ž
J-09-05	19.9.2009	P.I.
J-09-06	20.9.2009	P.II.

Tab.I. Přehled redukčních taveb v roce 2009.

Dále byly produkty taveb kovářsky zpracovávány. Dělo se tak jednak neprodleně při vytažení produktu z pece a jednak samostatně v rámci JK-09-01 a JK-09-02.

V souvislosti s workshopem proběhl výpal milíře vedený jako samostatný experiment, který bude prezentován autorem experimentu.

Experimentální zařízení.

Pece P.I. a P.II. jsou opravené pece z předchozí sezóny 2008. Obě vyžadovaly opravu výmazů a horní části pece. V zásadě se ale stále jedná o ty samé pece. Vzhledem k umocnění zásypu pece P.I. lze hovořit o konverzi na vestavěnou pec spíše s vlastnostmi pece s tenkou hrudí. P.II. je již čistá pec s tenkou hrudí, pec se kterou máme za dobu pokusů nejvíce zkušeností.

Nově byla vystavěna replika želechovické pece. Pec byla vystavěna s pokusem o pravěpodobně původní techniku stavby – ražením vodorovného tunelu a vykopání šachty. V prostoru experimentální dílny není k dispozici vhodné podloží. Proto byl základ pece vytvořen napěchováním navezené hlíny, do které byla pec vymodelována. Rozměry a tvar pece se blížily spíše nálezům z Želechovic. Pece obdobné konstrukce v oblasti Moravského krasu byly o málo menší. V tabulkách bude značena jako P.III.ž.

Příprava pecí

Opravy pecí proběhly 1.5.2009.

P.I. Z původní pece se zachovala nístěj a zadní část šachty. Zbytek byl nově vymodelován, při tom došlo k výše zmíněné konverzi na pec s tenkou hrudí a to i způsobem postupu zaklenutí hrudí „límcovou“ metodou. Celková výška pece 800 mm, největší rozměry v úrovni dyzny 320x320 mm. Rozměry kychty 230x180 mm.

P.II. Pec s tenkou hrudí byla již tradičně lépe zachovaná. Byly doplněny výmazy, které mají snahu se vylamovat. Doplněny a opraveny byly tradičně nejpoškozenější části - kychta a okolí pracovního prostoru. Celková výška pece 700 mm, největší rozměry v úrovni dyzny 400x350 mm. Průměr kychty 130 mm.

Pece byly dále postupně vysoušeny (2.5.-4.5.). V závěrečné fázi se v pecích topilo jako v kamnech.

Pro tavby v květnové kampani bylo použito komerční dřevěné uhlí. Dvě podzimní tavby využily v květnu vypálené uhlí.

Jako kovonosná vsázka byla použita celá řada materiálů. Hlavním zdrojem byla pražená hematitová ruda získaná nákupem ve slévárně oceli. K testování bylo k dispozici malé množství – pro jednu tavbu. Dále bylo využito veškerý vlastní odpadní materiál ve formě drcených strusek, které byly separovány pomocí magnetu. Cílem je jednak využití maxima vyredukovaného kovu, který se ve struskách vyskytuje v rozptýleném stavu, jednak využití strusky jako tavidla. Celkově očekáváme, že použití těchto odpadů pomůže při tvorbě železné houby.

TAVBA J-09-01

5.5.2001 pec P.I. Tavba byla zahájena v odpoledních hodinách intenzivním vypalováním dřevem. Po prvním zasdění si pec vyžádala opravu, takže byla konečně zaplněna až po 1 a $\frac{3}{4}$ hodiny a připojena na plný výkon ventilátoru. Kompletní náplň pece činila 8 kg uhlí. Poté byl i z přední strany k peci přihrnut písek jako tepelná izolace. 17:15–18:30 probíhal předeheřev, při kterém bylo spáleno celkem 5 kg dřevěného uhlí (dále jen CHC) - tedy za 75 min. V 18:44 byla přisazena první dávka rudy (pražený hematit) a pokračovalo pravidelné přisazování rudy a CHC v hmotnostním poměru 1:1. Dávky byly navažovány po 0,5 kg. Celkem bylo do 22:12 přisazeno 10 kg rudy a 10,5 kg CHC. Následovalo vyhořívání při stále zaplněné peci a ventilátoru do 23:58, kdy byl ventilátor odstaven. Pec byla ponechána pozvolnému dohořívání do dalšího dne a byla vylomena 6.5. v 10:00 - tedy celkem 10 hodin. Vytěžená houba nebyla dokonale separovaná od strusky a vytvořila spolu se struskou bochník. Ten byl v dílnách TMB rozřezán úhlovou bruskou na poloviny. I. polovina váží 3,287 Kg II. polovina 2,837 Kg, celkem tedy 6,124 Kg. Pokud by hmotnost železa činila 50%, potom by se jednalo o výtěžek cca 3 kg. S touto hmotností budeme dále počítat.



1. Polovina rozříznutého kusu 3,287 kg vč. strusky (J-09-01)



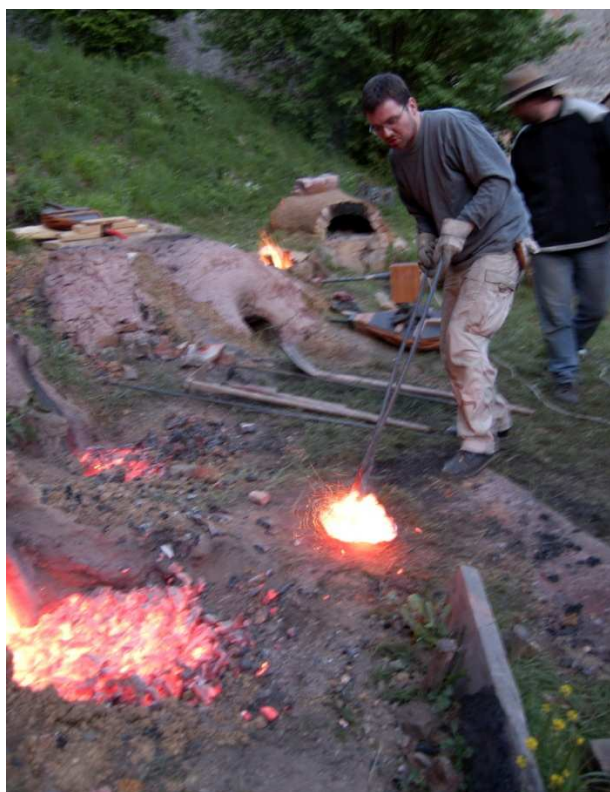
2. Polovina rozříznutého kusu 2,837 kg vč. strusky (J-09-01)

TAVBA J-09-02

7.5.2009 pec P.I. Pec zazděna a zapálena s připojeným ventilátorem v 10:54. 11:15 je pec zcela zaplněna CHC a začíná přehřev. V 12:19 byly pro kontrolu zapáleny kychtové plyny jako indikace teploty hoření. Přehřev trvá do 12:24, celkem spáleno 6 kg CHC za 69 minut. Ve 12:28 první vsázka vlastního separovaného strusko železného odpadu (dále jen OLD). Následují střídavě vsázky pražené rudy a OLD, v celkovém hmotnostním poměru kovonosné vsázky a CHC 1:1. Poslední vsázka rudy byla provedena v 18:32. OLD bylo vsazeno celkem 7,5 kg a rudy 8,5 kg, dohromady tedy kovonosná vsázka činila 16 kg. Ve 14:05 byla provedena inspekce, struska se sice lepila na tyč, ale odpich se nezdařil. Úspěšně proběhl odpich strusky v 16:19, kdy bylo získáno celkem 1,25 kg strusky. Další menší odpich následoval v 17:44. Pec byla po hodinovém dohořívání (pec pod ventilátorem a udržována plná) vylomena ve 20:27. Ihned byla provedena základní separace železného kusu od tekuté strusky a první kování dřevěnou palicí. Získaný železný kus měl hmotnost 2,2 kg a po dalším kovářském zpracování (JK-09-01) byl získán polotovar o hmotnosti 450 g.



Přeložený paket 0,45 kg (J-09-02)



TAVBA J-09-03

8.5.2009 pec P.II. Tato tavba byla vedena výhradně s rudou z nálezů u lomu Mokrá-Horákov (Fojt 2007) bez míchání s OLD. Pec byla zaplněna a pod plným ventilátorem v 11:35 a poslední vsázka předeřevu CHC byla zapsána v 12:18. Celkem bylo spáleno 4 kg CHC za 43min. Ve 12:14 se samovolně nad pecí vzňaly kychtové plyny se slyšitelným pufnutím. V časovém úseku 12:22-15:59 jsou rovnoměrně přísazovány ruda a CHC. Celkem bylo zpracováno 21 kg rudy. Odpichy byly provedeny v časech 14:05, 15:20 a 16:03. Zaplněná pec byla udržována pod větrem ještě do 16:30, kdy byla naposledy odpuštěna struska. Pec byla ponechána postupnému chladnutí a byla vylomena následující den v 10:30 – tedy 18 hodin. Výsledkem byla velmi dobře separovaná železná houba o hmotnosti cca 5 kg. Houba byla ihned postoupena týmu kovářů k dalšímu zpracování (JK-09-02). Získána byla nakonec houska o celkové hmotnosti 1,9 kg.



Naseknutá houska 1,9 kg (J-09-03)



Železná houba 5 kg (J-09-03)

TAVBA J-09-04

9.5.2009 P.III.ž - Želechovice. Tavba opět využívá praženou hematitovou rudu. V 9:15 zapálení pece a topení dřevem na přirozený vztlak. 10:14 pec zaplněna a zahájeno dmýchání ručním měchem. 10:46 uzavřen vodorovný kanál pece. Předehřev byl dokončen v 11:09 poslední samostatnou vsázkou CHC. Předehřev celkem 3,5 kg CHC za 33 min. 11:13 až 15: 41 rovnoměrné přísazování, celkem přísazeno 17,5 kg rudy. Dále pec dohořívala zaplněná pod větrem do 16:28, kdy byla otevřena. Při pokusu o zhutnění se houba rozpadala a nakonec z ní zůstalo cca 20 větších kousků. Vzhledem k tomu považujeme tuto tavbu za „neúspěšnou“. Výtěžek po nadrcení a přebrání znovu použijeme jako vsázkou.



Produkt vcelku po vytažení z pece (J-09-04)

TAVBA J-09-05

19.9.2009 Pec s označením P.I. po malé opravě pracuje bez potíží. V 13:12 je pec za dmýchání zaplněna. Předehřev probíhá od 13:21 do 14:07, spáleno 7 kg CHC za 48 minut. Měkčí uhlí z milíře subjektivně velmi rychle hoří. V časovém úseku 14:12 až 16:21 rovnoměrné přísazování rudy (celkem 8 kg) a okují (6 kg), tedy celkem kovonosná vsázka 14 kg. Do 16:57 dohořívání pod větrem. Pec byla ihned vylomena. Struska byla nápadně tekutá a byla zateklá i kolem štítku z vnější strany. V důsledku toho byla také velmi dobře vyseparovaná železná houba o hmotnosti 3.5 kg.



Základní zpracování s využitím teploty houby vytažené z pece



Železná houba před rozříznutím 3,5 kg (J-09-05)



1. Polovina rozříznuté houby (J-09-05)



2. polovina rozříznuté houby (J-09-05)

TAVBA J-09-06

20.9.2009 pec s označením P.II. Pec zaplněna v 9:45 a předehřívána od 10:01 do 10:42. Celkem 5,5 kg CHC za 41 min. Rovnoměrné přísazování 10:50 až 12:39. Vsazeno 7,5 kg rudy a 5 kg okují. Pec dohořívala plná pod větrem do 13:00. Následně byla vylomena a houba byla stejně jako v předchozí tavbě nahrubo zpracována dřevěnou palicí s využitím teploty čerstvě vylomené houby.



Železná houba 2,68 kg (J-09-06)



max: 1075°C

Vyhodnocení (včetně série z roku 2008)

Výťah základních údajů taveb je uveden v tabulce II. Prosté srovnání číselných hodnot bez kontextu měnících se podmínek experimentů nepovažují za vhodné, a proto také nebudou vyhodnocovány statisticky.

Jako méně zdařilé jsou (pochopitelně) tavby J-08-03 a J-09-04, které byly koncipovány jako prezentace pro veřejnost a řízeny byly tak, aby v určenou hodinu bylo možné předvést vylomení pece, rovněž se tyto tavby liší prakticky výhradním použitím ručního měchu, se kterým bývají častější komplikace a různí pomocníci dmýchají s různou intenzitou.

Tavby J-09-05 a J-09-06 byly vedeny s použitím měkkého dřevěného uhlí (smrk) vyrobeného při květnovém experimentálním výpalu.

J-09-03 byla vedena s autentickou rudou vytěženou v lokalitě „Studniční žleb“ v rámci záchranného výzkumu v těžebním území velkolomu Mokrý-Horákov.

Podstatnou překážkou je porovnání výsledků taveb v různém stupni zpracování, či kompaktnosti. Takto jsou tu vedle sebe hrubě zpracované kusy železa s hrubou houbou nebo dokonce houbou spojenou s masou strusky, v jednom případě se houba při pokusu o hrubé zpracování rozdrolila. Technologicky zdařilejší výsledky jsou v tabulce II. označeny tučně a podtržené, v závorce jsou naopak výsledky jen zhruba odhadované.

tavba	datum	pec	předehřev	[kg/h]	tavba	[kg/h]	dohořívání	%
J-08-01	14.5.2008	P.II.	(34min/2,25kg)	3,97	111min/5,5kg	2,97	1h/10h	<u>14,09</u>
J-08-02	16.5.2008	P.I.	78min/5,0kg	3,85	244min/19,5kg	4,80	1,5h/12h	22,31
J-08-03	17.5.2008	P.II.	56min/2,0kg	2,14	200min/7,0kg	2,10	1,5h/vylomeno	(30,00)
J-09-01	5.5.2009	P.I.	75min/5,0kg	4,00	208min/10,5kg	3,03	2h/12h	(11,00)
J-09-02	7.5.2009	P.I.	73min/6,0kg	4,93	364min/16,0kg	2,64	2h/vylomeno	<u>13,75</u>
J-09-03	8.5.2009	P.II.	47min/4,0kg	5,11	217min/21,0kg	5,80	0,5h/odpich/18h	<u>23,81</u>
J-09-04	9.5.2009	P.III.ž	59min/3,5kg	3,56	268min/17,5kg	3,92	0,75h/vylomeno	(?)
J-09-05	19.9.2009	P.I.	51min/7,0kg	8,24	129min/14,0kg	6,51	0,5h/vylomeno	<u>26,00</u>
J-09-06	20.9.2009	P.II.	41min/5,5kg	8,05	109min/12,5kg	6,88	0,5h/vylomeno	<u>21,44</u>

Tab.II. Přehled průběhu jednotlivých taveb

tavba	datum	pec	vsázka	surová houba	%	zprac. houba	%	polotovary	%	%%
J-08-01	14.5.2008	P.II.	11,00	?		1,55	14,09	0,55	35,48	5,00
J-08-02	16.5.2008	P.I.	13,00	2,90	22,31					
J-08-03	17.5.2008	P.II.	7,00	2,13	30,36					
J-09-01	5.5.2009	P.I.	20,50	3,00	14,63					
J-09-02	7.5.2009	P.I.	16,00	?		2,20	13,75	0,45	20,45	2,81
J-09-03	8.5.2009	P.II.	21,00	?		5,00	23,81	1,94	38,80	9,24
J-09-04	9.5.2009	P.III.ž	17,50	?						
J-09-05	19.9.2009	P.I.	14,00	?		3,64	26,00			
J-09-06	20.9.2009	P.II.	12,50	?		2,68	21,44			

Tab.III. Přehled výsledků jednotlivých taveb

Obě demonstrační tavby (J-08-03 a J-09-04) vedené s ručním měčem se jeví jako celkově slabší co do výsledku. Při porovnání rychlosti spalování se jedná o tavby nejpomalejší. Problematická je manipulace s měčem, dosud jsme nezvládli odpich strusky v kombinaci s použitím měchu. Na druhou stranu lze výtěžek těchto taveb po nadrcení a přebrání recyklovat v rámci další tavby.

Dvě poslední tavby (J-09-05 a J-09-06) využívaly měkké uhlí (smrk) pálené v milíři a vyznačovaly se vyšší rychlostí hoření a to jak subjektivní tak reálnou, měřenou hmotností spáleného uhlí. Při předeřevu byla rychlost takřka dvojnásobná, po zatížení rudnou vsázkou se rychlost snížila ale stále byla vyšší než u taveb vedených s komerčním uhlím. Obě tavby proběhly za velmi podobných okolností a s velmi příznivým výsledkem.

Tavba (J-09-03) byla pozoruhodná zejména ojedinělou možností zpracovat autentickou rudnou vsázkou. Vsázka proto nebyla s ničím kombinována. Vzhledem k jinak optimálním podmínkám bylo dosaženo slušného výsledku a při zpracování 21 kg rudy byla získána houba o hmotnosti cca 5 kg. I po kovářském zpracování zůstává výtěžek s 1,94 kg velmi slušný a napovídá cosi o reálných možnostech produkce v těchto zařízeních.

Z hlediska dohořívání a ponechání houby v peci jsme používali oba postupy – okamžité vylomení i ponechání v redukční atmosféře po dobu delší než 10 hodin. Z hlediska množství železa z této série nelze činit závěry. Z praktického hlediska znamená možnost poprvé kovat ještě žhavou houbu ihned po vytažení z pece značnou úsporu. Zda využívali staří mistři delší ponechání houby v peci za účelem nauhličení či cementovali polotovary vhodného tvaru zůstává otázkou. Pochopitelně je možné zvažovat i možnost využití náhodných nauhličení či vedení tavby tak, že výsledný produkt je nízkouhlíkaté železo nebo uhlíkatá ocel.

Při tavnách bylo několikrát provedeno měření teploty. Na jednom z vyobrazení je měření prostoru pece při vylomení dyznového štítu. Maximální povrchová teplota zde byla naměřena 1075°C. Vhodnější metodika kontrolního měření bude připravena pro ročník taveb J-2010.

Kovářské zpracování prováděl kovář restaurátor TMB Michal Truksa spolu se skupinou dobrovolníků – amatérských i vyučených kovářů. Množství spáleného uhlí je srovnatelné s množstvím uhlí použitým při tavně i vyšší. Jednoznačně se ukázalo, že zpracovávat 5 kg vážící houbu je značně náročné a lze předpokládat, že její rozdělení a následné znovusvaření do jednoho polotovaru by mohlo být snažší i hospodárnější. V dalších sezónách se budeme pokoušet o zdokonalení této fáze výroby.

Otázky

1. Jak se lišila funkce vestavěné pece s tenkou hrudí a nadzemní šachtové pece s mělce zahloubenou nístějí? Obě zařízení byla nalezena vedle sebe!
2. Jak bylo dosahováno správného nauhličení? Jedná se o náhodné výsledky nebo o cílevědomé ovlivnění kvality produktu?
3. Jak byly konstruovány měchy a jak byl prováděn odpich pod měčem? Odpichový otvor je jen několik centimetrů pod zaústěním měchu dyznou do pece.
4. Jak provádět hospodárně další zpracování houby na polotovar. Ztráty železa i množství spáleného uhlí byly při kovářském zpracování obrovské.

Na experimentech se podíleli:

TMB: PhDr. Jiří Merta, Mgr. Ondřej Merta, Michal Truksa

Soukromé osoby: Ing. Martin Barák, RNDr. Lenka Grycová

Kováři: Jan Halbich, Jan Lokajíček, Tomáš Rudolf a Radim Topor

Fotografie: studiové snímky Eva Řezáčová (TMB), ostatní archiv autora

Pálení milíře: Ing. Jiří Kadera (experiment probíhal samostatně po dobu květnové kampaně)

Hosté: János Gömöri, Ing. Jiří Hošek, PhD., Asist. Ivan Maria Hrovatin, akademik Vladimir Zavyalov, Michail Ratkin, RNDr. Jiří Hlávka

Literatura:

Fojt, B.: Mineralogická charakteristika lokality „Studniční žleb“ v katastru těžebního území velkolomu

Mokrá, Ústav geologických věd PŘF MU Brno 10. prosince 2007 – nepublikovaná zpráva